番茄之耐熱性與夏季增產之展望

陳惠美　郭忠吉

亞洲蔬菜研究發展中心

摘　　要

夏季之高溫可顯著影響番茄之生產。水耕試驗結果顯示：高氣溫對番茄植株生育之影響遠甚於高水溫。夏季之高溫可造成番茄花粉、子房及柱頭之發育障礙，而影響到授粉受精過程之進行，以致著果率降低；又由於花粉管伸長受阻，使得受精率降低、種子數目減少、果實變小。此外，高溫也會影響番茄內生賀爾蒙的平衡，進而刺激果梗離層的形成以及影響光合產物的輸送。在同化養分之利用上，溫度對不耐熱品種葉片碳源向外輸送能力及果實中蔗糖合成澱粉之能力皆有較高之抑制作用，顯示高溫也可影響碳源之轉運與分配。高溫下之著果不良，乃是許多相關細部受損情況之綜合結果，而非單一因子所控制。因此，在耐熱性品種的篩選過程中，單由著果率之高低可迅速達到選拔之效果，但也可能錯失某些有益耐熱性之生理性狀。例如某些柱頭易凸出之品種其著果率雖低，卻具有活性高之花粉。

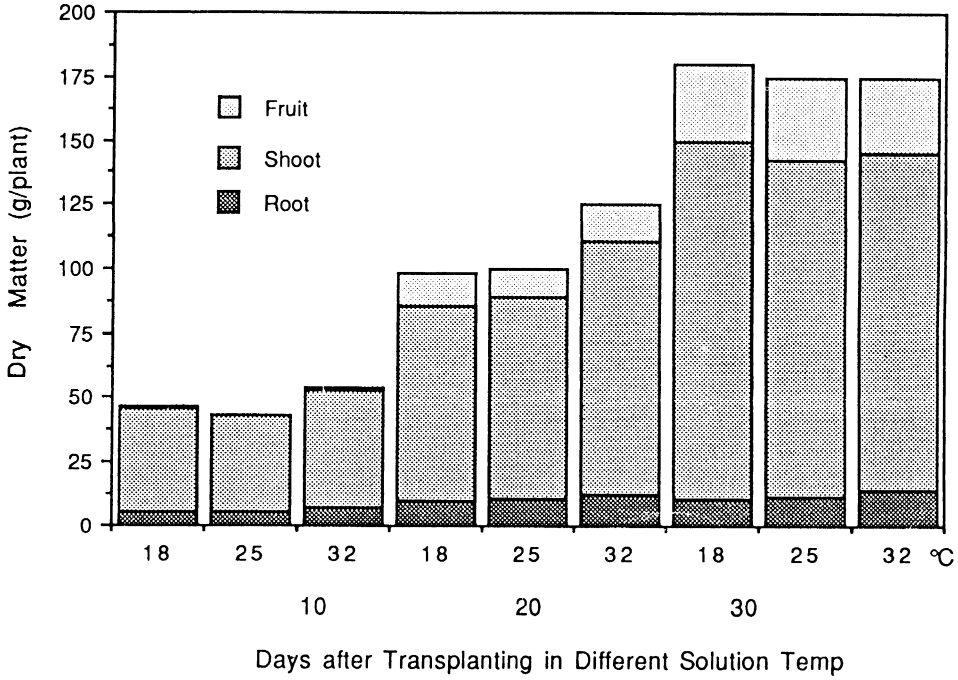
在耐熱性品種育成方面，經過多年的雜交育種方法的培育，亞蔬中心已經育成較為耐熱之品系，但其夏作之產量仍遠低於適溫季節，顯示在耐熱之改良上還存留相當的空間。如果能就現有的優良品系之個別生理性狀加以強化（例如：提高花粉、子房之活性及果實對合成物之積儲力），可能有助於產量之更進一步提高。

前　　言

番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)原產地為南美安地斯山區。目前多數經濟栽培品種適宜生產的日／夜溫範圍約在20-30℃／15-20℃之間，當氣溫超過40℃，會造成嚴重落花；日溫高於32℃或夜溫高於21℃則使得著果及果實生產嚴重受阻，而無法周年平均生產[12,16]。根據歷年來臺灣農業年報統計，台灣的番茄之主要產期集中在12月到4月，其餘月份裡由於高溫多溼，番茄之栽培面積相對減少，且單位面積產量也顯著降低。由於番茄可利用為鮮果、蔬菜及多種加工產品，其消費形態多樣化，屬高經濟價值的園藝作物，因此提高栽培品種的耐熱性以延長產期或提高夏季單位面積產量，無論對充裕夏季蔬菜之供給或提高經濟效益，都有其必要性。

溫度逆境對番茄生育的影響可分別就氣溫與地溫來討論。在氣溫方面高溫明顯地影響到

生殖生長的進行。在地溫方面，根據水耕初步試驗結果顯示18、25、32℃之水溫對著果率及全株乾物生產及分配並未造成顯著差異(圖1)，因此在32℃以下地溫可能對植株生長影響有限(19)。而以往的研究結果顯示，高氣溫不但會降低番茄之著果率，同時也降低單果鮮重而導致夏季之低產(11)。短暫三小時的40℃處理即能導致一般品種的嚴重落花(16)。本文擬以生理的觀點，逐一檢討高氣溫對番茄植株生育過程的影響，以作爲品種改良或栽培管理上强化著果相關生理性狀，克服高溫逆境及提高夏季產量之參考。



圖一 水耕箱養液溫度對番茄植株乾物分配之影響

Fig. 1. Dry matter dirstribution in tomato plants cultivated under 3 solution temperatures.

引起著果率降低之原因

番茄從花芽分化、開花到著果，經過一系列的形態發生過程。其著果現象之完成除仰賴發育健全之雌雄配子體外，還需有正常授粉、花粉發芽及雌雄配子結合之受精過程等的配合。對番茄植株而言，溫度的影響層面擴及著果之每一過程：由於溫度昇高，花器發育不完全，雌雄配子受損而影響授粉受精之進行；即使完成授粉受精過程，也易因其它果實或營養器官之競爭、光合效率降低等因素，而阻擾著果或幼果的發育。茲分述如下：

一、雄蕊花粉生產之量與質

花粉的產量受到許多內外在因素的支配。當氣溫高於32℃時，番茄花粉的產量顯著下降

，高溫顯然會抑制花粉粒的發育，而導致退化花粉粒的形成[16]。由於花粉粒是在花藥內發育，需有正常開裂的花藥才能使花粉正常釋出。而花藥的開裂，有賴花藥內皮層的加厚。高溫往往使得花藥之內皮層無法加厚，開口無法形成，致使花粉無法釋放；這可能是導致花粉量減少之原因之一[8,14,16,17]。據了解，耐熱品種在高溫多溼下，花藥內皮層能正常發育。

眾所週知，花粉爲子房受精之必要因子，由於花粉本身含有豐富的植物賀爾蒙，在著果過程中，除了扮演受精之角色外，本身不需透過受精作用即具有刺激子房發育之功能[12,17]。所以高溫下花粉量的減少使得柱頭上賀爾蒙含量下降、子房發育不良、落花率提高且著果之果實較小。此外Brewbaker[2]指出：花粉具有族群效應，花粉量的多寡影響到花粉發芽率之高低。因此，花粉量的降低對子房受精率、種子數及果實發育均有影響。據了解，夏季高溫下授粉不足現象普遍存在於耐與不耐熱品種間，且不耐熱品種較爲嚴重[8]。El Ahmadi[8]認爲授粉不足爲著果率下降之主要因素。高溫下以人工授粉自交或雜交均可提高著果率及果實產量[8,11,14,17]，但對種子的形成則未有促進作用(表1)，再次證明花粉粒具有促進子房發育的作用。因此，授粉可能有助於子房積儲能力的增强。

表1. 人工除雄與授粉對耐熱、不耐熱與亞蔬育成之番茄品系之著果、產量與種子數之影響[z]

Table 1. Group comparison of fruit-set, yield and seed number of tomatoes on different pollination treatments.

品種特性(品種數)	著果率(%)			單爲著果率(%)			產量(g/株)			種子數(No./果)		
	對照	除雄	人工授粉[x]	對照	除雄	人工授粉	對照	除雄	人工授粉	對照	除雄	人工授粉
不耐熱品系(8)	8	5	48	3	5	3	26	10	146	16	-	10
耐熱品系(9)	23	21	48	14	21	4	76	40	167	13	-	10
自交品系(9)	41	52	59	22	52	8	204	118	276	17	-	9
Severianin[y]	14	22	16	14	22	4	137	162	128	4	-	7

x: 人工除雄後授以在低溫季節收集各品系的混合花粉。

y: Severianin爲單爲著果品系。

z: 資料來源: 亞蔬中心1985年報。

不管自花或異花授粉，當花粉粒附著在柱頭上，細胞即可吸收水分膨脹而開始活躍，惟在高溫下所產生之花粉品質明顯下降[11,14,21]，且高溫使得花粉管在花柱內之伸長受阻。已經在高溫下開始發芽伸長的花粉粒，即使再移到適溫，其伸長也極爲緩慢[21]。表二顯示番茄花粉發芽及花粉管伸長之適宜溫度範圍在30℃以下；溫度太高時，發芽及花粉管伸長就較差。在適當溫度下收集的花粉在人工培養基之發芽率受到發芽時高溫之限制[13]；成熟花粉

粒在40℃條件下，只歷經一小時就幾乎不能發芽[21]。這些結果意味著授粉後花粉管到達子房所需時間可能由於高溫而受阻，以致胚珠受精率降低。植物在遭逢逆境時極易在其營養器官累積脯胺酸[3]，唯營養器官中脯胺酸之累積與植物抗逆境生理尚未完全了解，又其對生殖生長之影響有待深入探討。但在花粉壁中，脯胺酸爲主要的胺基酸成份，而高溫促成番茄葉片中脯胺酸的累積時，反而造成花藥以及花粉中脯胺酸的下降(表 3 & 4)[13]。但由於番茄花粉發芽率並非影響著果率之唯一因素，所以，花粉中脯胺酸含量並不直接影響到著果率。然而花粉中脯胺酸含量與花粉發芽率卻有極高的相關性[13]，若在培養基中添加脯胺酸可顯著地提高花粉之發芽率(表 5)。因此，高溫所引起花藥或花粉脯胺酸之下降可能是導致花粉活力降低之主要因素之一。另外，在高溫下，由於光合產物減少，花粉粒內澱粉也減少，因此也能影響正常花粉發芽，導致落花增多[16]。

表2. 溫度對番茄花粉發芽率及花粉管伸長之影響[y]

Table 2. Effect of in-vitro temperature on pollen germination of L-125 tomato.

發芽溫度（℃）	發芽率（%）[x]	花粉管長度（μ）
25	19.0	265.0
31	20.0	140.0
38	1.5	27.5

x: 於播種後73天收集花粉，發芽時置於100ppm H_3BO_3，10%蔗糖之培養基中2小時

y: 資料來源: 亞蔬中心1982年報。

表3. 溫度對番茄葉片及花藥中脯胺酸含量之影響[z]

Table 3. Effect of temperature on proline content of tomato anthers and leaves (average of 7 entries).

栽植日期	溫度（℃）	脯胺酸濃度（μmole .g^{-1} fresh wt）			
			花藥取樣期		
		葉片	5-4 DBA	2-1 DBA	0 DBA[x]
3月13日	37.0/22.3	0.61	3.35**[y]	12.13**	20.17
	28.9/18.4	0.54	8.53	16.41	20.73
4月 9日	45.0/21.0	1.67**	8.78**	10.72**	17.31*
	36.5/18.6	1.05	10.94	12.48	23.30
6月11日	41.2/24.3	1.35*	4.94*	5.36**	8.99**
	33.7/23.0	0.75	5.71	6.89	10.74

x: 開花前日數。

y: 鄧肯氏分析(*)表同一栽植期不同溫度處理之差異顯著性在5%，(**)表差異顯著性在1%

z: 資料來源：Amer. Soc. Hort. Sci. 111(5): 746-750。

表4. 生長季節對番茄花粉發芽率及脯胺酸含量之影響[y]

Table 4. Germination and proline content in the pollen of tomatoes grown in the cool or hot season.

品種名稱	花粉發芽率 (%) 冬季	花粉發芽率 (%) 夏季	夏/冬季發芽率之比 (%)	脯胺酸濃度(μmol/g 鮮重) 冬季	脯胺酸濃度(μmol/g 鮮重) 夏季	夏/冬季脯胺酸濃度含量之比(%)
L 124	14.1 b[x]	2.2 b	15 cd	207 b	103 c	50 cd
L 387	18.0 a	4.4 a	24 bc	217 a	112 b	52 cd
L 3957	18.0 a	0.8 c	5 d	166 d	103 cd	62 b
L 3958	7.9 d	1.3 bc	17 cd	167 d	105 c	63 b
C L 1131-26	8.2 cd	4.3 a	55 a	162 d	78 e	48 d
C L 1131-43	10.4 c	3.7 a	35 b	180 c	96 d	54 c
C L 5915-153	4.3 e	1.5 bc	40 ab	177 c	126 a	71 a

x: 鄧肯氏多變域分析，品種間英文字母同者表差異不顯著（P=0.05）。

y: 資料來源：Amer. Soc. Hort. Sci. 111(5):746-750

表5. 溫度與脯胺酸對番茄花粉發芽之影響[y]

Table 5. Effect of heat and proline addition on tomato pollen germination.

溫度（℃）	脯胺酸濃度（μM）	花粉發芽率（%） C L 1131-65	花粉發芽率（%） C L 5915-379
40	0	0.7 f[x]	0.2 f
	0.45	3.7 e	10.1 e
	0.85	7.2 cd	25.9 cd
	1.25	5.5 de	23.4 d
27	0	8.9 bc	1.8 f
	0.45	10.5 b	41.6 a
	0.85	10.5 b	31.7 b
	1.25	13.3 a	29.7 bc

x: 鄧肯氏多變域分析同行相同溫度處理內，其英文字母相同者，表差異不顯著（P=0.05）。

y: 資料來源：Amer. Soc. Hort. Sci. 111(5):748-750.

二、雌蕊之活性

一般番茄雌蕊的受精能力在適當溫度下可維持到開花後三至四天，其活性範圍需包含柱頭及子房，故而雌蕊的活性標準比起雄蕊更難以訂定。柱頭方面研究結果顯示：柱頭能滲出一些水溶性分泌物，而這些分泌物可影響花粉之發芽率(表 6)。尤其耐熱品種之柱頭抽出液有明顯促進花粉發芽效果，這些分泌物的成份和作用及其與溫度或品種耐熱性的關係有待進一步探討。另一方面，利用雌蕊與雄蕊分別高溫處理後交叉授粉試驗發現，高溫能抑制子房或胚之正常發育，以致人工授粉後仍無法促進種子的形成[8,18]。在開花前5-9天，胚珠尤其對於高溫特別敏感。在高溫季節裡，發育中的子房中所含生長促進物質較低，但生長抑制物質卻提高[12]；此結果意味著在高溫情況下，子房內生長促進或抑制物質的平衡失調，可能影響到子房的著果能力。據了解，某些單爲著果的番茄品種，其花粉發芽率雖低，卻有高的著果率，對於這些品種而言著果並不需完全仰賴授粉。而某些耐熱番茄品種的雌蕊經高溫處理後授以適溫產生的花粉粒雖無種子形成，卻仍有著果現象[8]。同樣的在許多經過改良的耐熱品系裡，除雄後不授粉，著果率並未降低，而得以單爲結果(表 1)。因此，就番茄而言，種子的發育並非刺激果實發育的唯一條件，子房中生長激素的含量會影響到積儲能力，而影響著果率。僅管如此單爲結果所產生之果實果型較小，因此類似單爲著果的能力，似乎無法完全取代子房受精的刺激，僅可作為加強結子番茄品系耐熱性的遺傳背景。

表6. 柱頭與花粉之水抽出液對番茄(L 387)花粉發芽之影響^{v}

Table 6. Effect of stigma exudate, style extract and pollen extract on pollen germination ratio of L 387.

品　種	發芽率之比值^{x}	
	柱頭抽出物^{y}	花粉抽出物^{z}
L 124	0. 21 b^{w}	1. 03 b
L 387	0. 81 b	1. 26 ab
C L 1131-43	2. 58 ab	1. 55 a
C L 5915-153	5. 16 a	0. 99 b

x: 發芽率之比值爲花粉分別在塡加抽出物之培養基與對照培養基中發芽率之比。

y: 0.2 ml 培養基內含10%蔗糖50 ppm H_3BO_3及5朵花之柱頭抽出物。

z: 0.2 ml 培養基內含10%蔗糖50 ppm H_3BO_3及0.31 mg花粉抽出物。

w: 鄧肯氏多變域分析同行英文字母相同者表差異不顯著(P=0.05)。

v: 資料來源：亞蔬中心1986年報。

在雌雄配子體的耐熱程度方面：Shelby曾指出子房比花粉更耐高溫，在33℃以下子房之

活性無明顯下降。又Levy比較耐熱與不耐熱品種，指出在日／夜溫33／23℃下，雄配子體活力之下降比雌配子體明顯[14,17]。但是當日／夜溫昇高到38／27℃時，子房活力所受到的影響似乎超過花粉[8]，而呈現較低之著果率及單果重。另外，在整個著果過程中，以開花前之減數分裂期及開花始期對高溫的抵抗性最弱；而在減數分裂以前及開花後期，高溫的影響力較低。

三、花器結構之物理障礙

由於番茄屬自交作物，在正常開花條件下，花柱的伸長與花藥的開裂同時進行。由於花柱的伸長，柱頭接觸到開裂的花藥筒使得花粉粒輕易地附著到柱頭上，而達到授粉的目的。然而在高溫下某些品種的柱頭快速伸長而遠凸出於尚未裂開之花藥頂端之上，成爲長柱花，於是當花粉成熟釋出，無法授粉於伸長的柱頭上，在這種情形下自花授粉便難以進行。此外，有些番茄品種在高溫下花藥筒會裂開，不但使得花藥與柱頭間距離加大，而且當花藥開裂時花粉粒易飛散而降低自花授粉的效率。高溫下產生物理障礙的程度與比率在品種間有極大的差異，並且物理性障礙的發生與雌雄配子對高溫的反應未必一致。有些品種在高溫下雖產生長柱花，但其雌雄配子仍維持相當的活性；另有的品種擁有正常花柱，然其雌雄配子活性卻降低。在某些地區，35℃以上的高溫加上乾燥的氣候會導致柱頭之乾燥褐化，阻礙了授粉與受精之進行[14]，但在高溫多濕地區，柱頭乾褐的現象較少發生。

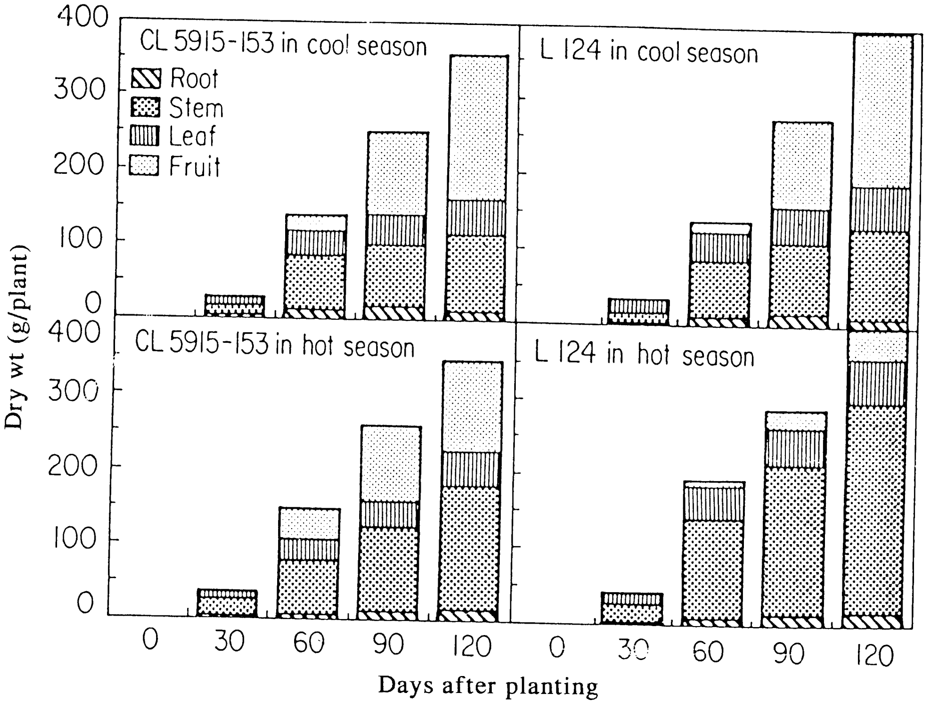
四、落花的機制

子房是果實發展的基礎，它到開花爲止，一直持續著旺盛生長，一旦開花就暫時緩慢，一經授粉，就會再次進行旺盛的生長。如不受精，則其生長就停頓下來，並且在花梗中部的離層部位形成離層而脫離，而造成落花。未經授粉、受精的花，差不多在開花後二至三天到一週左右的時間落花(視氣候而異)。而且，在開花前後如自花梗基部切除且不保留花器，而僅培養花梗於培養基上，則一般不耐熱品種的花梗在一至二天後，大部份會從離層部脫落，而耐熱品種的花梗則可維持三至五天才形成離層。如果花梗連花器一起培養，則離層形成更爲緩慢。另一方面，如果在培養花梗時施加生長調節劑auxin或cytokinin，會抑制花梗離層的形成。而施加abscisic acid(離層酸)或ethephon(於現狀中釋放乙烯)生長調節劑時，則會促進離層的形成。從這些事例來看，支配花梗的脫落(落花)，可能決定於促進性與抑制性的賀爾蒙的均衡，在子房內生成促進性賀爾蒙較多，而轉移至離層部，抑制離層的形成，因此不會發生落花。但番茄在高溫情形下，離層酸的增加[11]，則會促進落花。

積儲強度與高溫著果之關係

子房由於受到授粉、受精作用的刺激，致使子房壁膨大而開始果實的發育。其發育需透過細胞分裂使細胞增生，配合細胞的生長，使細胞的容積也隨之增大。一般果實的大小是由

形成果實的細胞數和細胞的大小來決定的。果實發育的潛力基本上決定於開花期子房大小和細胞總數，也就是所謂的同化物積存容量。爲使果實正常肥大，需使同化養分不斷移轉到發育中的果實，即具備同化物積存的能力，以確保發育中果實養分之供應。高溫下子房由於呼吸作用的增强，導致光合產物的累積減緩繼而組織內細胞的分裂與發育受阻，同化物積存容量變小。在供源方面，Steven與Rudich[18]指出：雖然高溫下會提高呼吸作用而導致同化能力之下降，但並非高溫著果率降低之直接因素。利用高低溫季節以盆栽方式比較停心型耐熱與不耐熱番茄品種，顯示雖然溫度對同一生長型番茄之總乾物生產量影響有限，但在高溫情形下果實之乾物分配量顯著降低，同化養分大都累積在莖部(圖 2)。此現象在不耐熱品種中更加明顯[11]。這些試驗結果意味溫度在30－35℃時對於供源(總乾量)之影響有限，但高溫所導致生殖器官之破壞對乾物質之低積存容量與低積存能力產生間接影響。另外試驗證明：高溫抑制光合產物運輸至花器[6]，而耐熱品種比起不耐熱品種在高溫下，其碳源輸送至生殖器官以及在生殖器官轉換爲澱粉的效率顯然較高。如前所述：番茄在適溫情況下授粉或受精刺激著種子的發育，賀爾蒙的生成，進而刺激果實的肥大。在高溫情況下，這些過程受到抑制時，如果外加Auxin類賀爾蒙，則子房可充分發育而形成無子果實。此一現象顯示：外施賀爾蒙有類似花粉及種子之作用提高子房之積儲能力而取代在高溫情形下授粉與受精之缺失。因此就著果過程而言，供源的影響不如積儲顯著。



圖二　高低溫季節對不同耐熱性番茄植株乾物生產及分配之影響

Fig. 2. Dry matter production and partition of heat tolerant (CL 5915-153) and heat sensitive (L 124) tomatoes at different growth stages in cool and hot seasons.

一般停心型番茄品種，從花序形成部位以上，葉片與花序之比例約爲1比1，而非停心型品種，其葉與花序之比例約爲3比1，若將非停心型植株除葉，使其葉與花序比例模擬停心型品種，則可略提高不耐熱品種(L-387)之著果率、單果重及產量(表 7)，但對耐熱品種而言無論將不停心型除葉或將停心型摘心以促進頂梢生長，對著果與產量未有明顯差異，顯示營養與生殖生長器官養分之競爭，可影響夏季番茄之生產，但非主要因素(11)。

表7. 營養與生殖生長之調節對停心與不停心番茄生產之影響[z]

Table 7. Effect of controlled growth on vegtative and reproductive growth and on yield of tomatoes.

品種	處理	鮮重 (g/株)	產量 (g/株)	採收指數 (%)	花數／株	著果率 (%)	果數／株	單果重 (g)
L 387[x]	對照	720 b[y]	24 c	3 c	201 b	2 e	3 d	7 c
(H S, I)	除雄	700 b	144 b	21 b	242 a	7 d	18 c	8 bc
C L 5915-153	對照	980 a	556 a	57 a	122 cd	45 b	54 a	10 b
(H T, D)	摘心	979 a	533 a	55 a	107 d	52 a	55 a	10 b
C L 5915-206	對照	947 a	535 a	57 a	129 cd	24 c	31 b	17 a
(H T, I)	除葉	914 a	561 a	61 a	138 c	22 c	30 b	19 a

x: HS: 不耐熱，HT: 耐熱，I: 不停心型，D: 停心型。

y: 鄧肯氏多變域分析，同行英文相同者表差異不顯著(P=0.05)。

z: 資料來源：亞蔬中心1985年報。

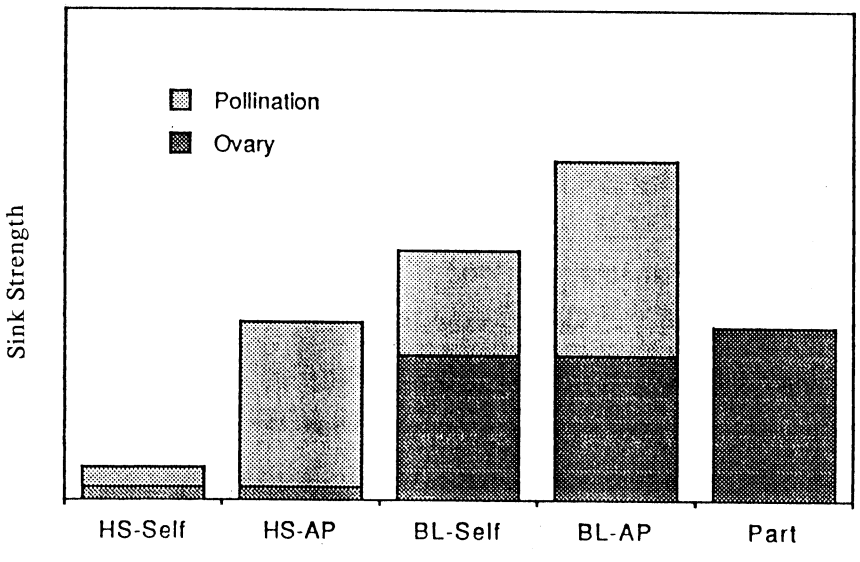
影響單果鮮重降低之因子

果實的發育仰賴著葉片同化養份的供給，而葉片及果實，尤其是後者之蔗糖與澱粉含量與果實內碳之輸入惜惜相關(20)。在同化養份的轉運上，Ho(10)指出供源與積儲間之蔗糖梯度控制著碳之轉運效率。根據調查，在高溫季節裡番茄葉片中澱粉含量有降低趨勢，且耐熱品種之葉片內可溶性醣與澱粉之比例較高(11)。一般而言，大果品種葉片的澱粉含量較高，著果率較低。在適溫下，即使低光照導致同化速率低於1mg/dm^2/h，籍著葉片中儲藏性澱粉的水解，葉片中碳的輸出入依然可維持在1mg/dm^2/h左右(9)。因此，當環境因子爲碳素固定的限制因子時，光合產物的轉運決定於貯藏性碳源(尤其是澱粉)之再移動力。35℃左右的高溫對耐與不耐熱番茄品種之光合、呼吸作用及葉片氣孔阻力的影響沒有太大差異(1)；然在40 ℃以上的高溫下，耐熱品種的核酮醣二磷酸梭化酵素活性之下將及葉片阻力之增加不若熱敏感品種顯著(15)。高溫減少同化物之往外輸送，尤其是不耐熱品種(5)。此碳源輸送的受阻，可能與葉片內碳源的再移動力及葉柄輸導組織中癒傷葡聚醣的堆積有關。高溫下不耐熱品

種之澱粉水解能力有下降趨勢，耐熱品種則變化不大(7)，顯示在高溫下不耐熱品種貯藏性碳源的轉化能力受阻。花苞中亦呈現澱粉低蔗糖高之現象(6)，且由於蔗糖之水解能力下降，無法使蔗糖轉換成澱粉，不但導致果實內蔗糖的堆積，同時同化物之輸入也因此受阻。並由於蔗糖不易水解，使得發育過程中所需能源的取得困難，而導致單果鮮重下降。因此，高溫下積儲能力的降低與同化物轉運受阻可能爲番茄果實較小的主要原因。

展　　望

綜上所述，夏季高溫逆境對番茄生殖生長之影響所牽涉的層面極爲廣泛，其中著果和果實的肥大直接關係到產量。在高溫多濕季節中藉著栽培管理方法來改變作物生長之微氣候，以減輕植株的生育障礙極爲有限。因此要克服夏季高溫逆境，需根本上提高品種的耐熱性。由於影響番茄高溫著果因子錯綜複雜，在篩選工作上，較爲可靠而直接的方法是透過高溫著果能力的檢定，經過多年的雜交育種及高溫著果的篩選，亞蔬中心育有頗爲耐熱之自交系及雜交一代品系。然而在夏季高溫情況下，其著果率仍未達到適溫下之著果率，顯示在著果耐熱性之改良上仍留有改進的空間。欲使著果率在高溫下更上層樓，則有待限制著果的生理因素，如花粉粒產量、活性以及雌配子活性的提高，長花柱以及花梗離層形成的抑制等單一性狀加以改進，並求各個組成因素的整合與互相協調。另一方面在夏季果型大小的改進上，需針對果實對養分之積儲力及同化養分之轉運力等個別性狀加以强化。夏季高溫產量提升的重點則宜兼顧著果率與果實肥大，使得各單項性狀得有最大的發揮。由於促成果實積儲力之兩個主要因素爲花粉之刺激及果實之單爲著果能力(圖 3)，有效地融合有子與無子品種之優點將使得夏季番茄之生產有更好的遠景。



圖三　高溫逆境下不同基因型番茄植株授粉前後積儲強度之表現

Fig. 3. Sink strength for fruit set of three tomato genotypes under an unfavorable environment.

参考文獻

1.Bar-Tsur, A etc. 1985. Photosynthesis, transpiration and stomatal resistance to gas exchange in tomato plants under high temperatures. J. Hort. Sci. 60(3):405-410.

2.Brewbaker, J. L. and B. H. Kwack. 1963. The essential role of calcium ion in pollen germination and pollen tube growth. Amer. J. of Botany 50(9):859-864.

3.Chu, T. M., D. Aspinall, and L. G. Paley. 1974. Stress metabolism V1 temperature stress and the accumulation of proline in barley and radish. Austral. J. Plant Physiol. 1: 87-97.

4.Dashek, W. V. 1974. Proline, hydroxy prline, and lily pollen tube elongation. Ann. Bot. 38: 947-959.

5.Dinar, M., J. Rudich and E. Zamski. 1983. Effect of heat stress on carbon transport from tomato leaves. Ann. Bot. 51: 97-103.

6.Dinar, M. and J. Rudich. 1985. Effect of heat stress on assimilate partitioning in tomato. Ann bot. 56: 239-248.

7.Dinar, M. and J. Rudich. 1985. Effect of heat stress on assimilate metabolism in tomato flower buds. Ann, Bot. 56: 249-257.

8.El Ahmadi, A. B. and M. A. Stevens. 1979. Reproductive responses of heat-tolerant tomatoes to high temperatures. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 104(5): 686-691.

9.Ho, L. C. 1976. The relationship between the rate of carbon transport, and of photosynthesis in tomato leaves. J. Exp. Bot. 27(96):87-97.

10.Ho, L. C. 1979. Regulation of assimilate translocation between leaves and fruits in the tomato Ann. Bot. 43:437-448.

11.Kuo, G. C., H. M. Chen and H. C. Chen. 1983 -1987 Progress report of AVRDC, Shanhua, Taiwan, R.O.C.

12.Kuo, G. C., H. M. Chen and H. C. Chen. 1986 Plant hormones in tomato fruit-set and development at high temperatures. In FFTC Book Series No. 34 "Plant Growth Regulators in Agriculture". pp. 54-70.

13.Kuo, G. C., H. M. Chen and L. H. Ma. 1986. Effect of high temperature on proline content in tomato floral buds and leaves. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111(5):746-750.

14.Levy, A., H. D. Rabinowitch and N. Kedar. 1978. Morphological and physiological characters affecting flower drop and fruit set of tomatoes at high temperatures. Euphytica 27: 211-218.

15.Markus, V. etc. 1981. High temperature effects on RuBP carboxylase and carbonic anhydrase activities in two tomato cultivars. Phsiol. Plant. 53:407-412.

16.Rudich, J., E, Zamski, and Yael Regev. 1977. Genotypic variation for sensitivity to high temperature in the tomato :pollination and fruit set. Bot. Gaz. 138(4):448-452.

17.Shelby, R. A., W. H. Greenleaf and C. M. Peterson. 1978. Comparative floral fertility in heat tolerant and heat sensitive tomatoes. J. Amer. Sor. Hort. Sci. 103(6) : 778-780.

18.Stevens, M. A. and J. Rudich. 1978. Genetic potential for overcoming physiological limitations on adaptability, yield and quality in the tomato. HortScience 13(6):673-677.

19. Thalib, H. and G. C. Kuo. 1990. Responses of tomato and pepper to different solution temperatures in the aerated hydroponic system. Research report of the research intern at AVRDC.

20. Walker. A.J. & L. C. Ho. 1977. Carbon translocation in the tomato : carbon import and fruit

growth. Ann. Bot. 41:813-823.
21. Weaver, M. L. 1989. Screening tomato for high-temperature tolerance through pollen viability tests. HortScience 24(3):493-495.

Response of Tomatoes to Heat Stress and Prospects for Improved Summer Production

H. M. Chen and C. G. Kuo
Asian Vegetable Research and Development Center

Summary

High temperature is one of the important factors that impede tomato production in the summer season. Hydroponic experiments, with controlled solution temperatures of 18, 25, and 32℃, showed that the impact of root temperature is not as important as that of air temperature. High air temperature caused the abnormal development of reproductive organs, so that pollination and fertilization could not proceed properly, thus reducing fruit set rate. Poor pollen tube growth caused by high temperatures results in insufficient fertilization, affecting seed number and fruit size. Other physiological and biological characteristics are also influenced by high temperature, e.g. the balance of endogenous plant hormones in the floral organ and enzyme activities related with carbon export from the leaf or import of carbon to the developing fruits, etc. These reactions would affect sink strength of the ovary, and also affect utilization of carbon resources. Poor fruit yield of tomato in the summer season seems to be the result of a complex of factors, so in addition to fruit set rate, attention should also be directed to the broader genetic background concerning multiple morphological and biochemical processes. Some heat-tolerant breeding lines have been developed at AVRDC. The yield potential in the hot season, however, remains far below that of the cool season, so there is considerable opportunity for improvement. Conventionally, high fruit set rate and yield have been emphasized in the screening work for heat tolerance. These criteria offer only general consideration of the multiple factors related to heat tolerance. However, to enhance the level of heat tolerance and therefore higher production in the summer season, the improvement of specific characters such as pollen production, pollen viability, ovary sink strength efficiency of specific enzyme for photosynthate translocation, etc. must be addressed.